

COMPARANDO OS IMPACTOS AMBIENTAIS DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO INDUSTRIAL E ARTESANAL DO DOCE DE LEITE POR MEIO DE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Elbert Muller Nigri¹
Aline Capanema de Barros²
Sonia Denise Rocha³
Eduardo Romeiro Filho⁴

Resumo: Este artigo apresenta a aplicação da análise do ciclo de vida (ACV) na produção do doce de leite, em suas formas artesanal e industrial. Embora exista a fabricação em escala industrial, boa parte da produção ainda é realizada de forma artesanal por um grande número de pequenas empresas ou para consumo da própria família. O objetivo do estudo é mensurar e comparar os impactos ambientais de cada tipo de processo (se industrial ou artesanal), como forma de determinar o impacto ambiental por etapas do ciclo de vida. A coleta de dados para o estudo foi realizada por meio de visitas a produtores artesanais e industriais de doce de leite. Os dados coletados em pesquisa de campo foram inseridos no software Simapro e a análise de impacto do ciclo de vida foi feita com o método Eco-indicator 99. Os resultados revelaram que a produção artesanal de doce de leite apresenta menos prejuízo ao ambiente em relação ao modelo industrial, especialmente nas etapas de mistura e cocção. Entre as categorias de impacto avaliadas neste estudo, destacam-se a respiração de partículas inorgânicas, uso da terra e consumo de combustíveis fósseis.

Palavras-chave: Análise do ciclo de vida; Impacto ambiental; Processos de produção; Doce de leite.

Abstract: This paper presents a Lifecycle Assessment (LCA) of the “dulce de leche” in the industrial and artisanal processes. Notwithstanding the industrial production in large scale, a considerable part of production is originated from artisanal processes, made from a great number of small companies or to families’ consumption. The study objective is to measure and to compare the environmental impacts of each process (industrial and artisanal), as a way to determine the environmental impact in each step of the product lifecycle. The field data was collected by technical visits to industrial and artisanal producers of dulce de leche and analyzed using the Eco-indicator 99 and the Simapro LCA Software. Results demonstrated the artisanal production present less environmental impact in comparison to the industrial process, specifically in the mixture and cooking. Some of the impact categories analyzed in this study are inorganic particles, land use and fossil fuels consumption.

Keywords: Lifecycle Assessment, Environmental Impacts, Production Process, Dulce de Leche.

¹ Depto Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: elbertnigri@yahoo.com.br

² Depto Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: abarros2707@gmail.com

³ Depto Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: sdrocha@demin.ufmg.br

⁴ Depto Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: romeiro@ufmg.br

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a demanda de consumo em produtos alimentícios é majoritariamente suprida por produtos industrializados, ou seja, manufaturados por processos industriais. No entanto, em se tratando de laticínios existe uma parcela importante representada por produtos artesanais, tendo em vista suas características de qualidade advindas de seu tradicional modo de preparo e componentes utilizados. É observada uma procura crescente por produtos que representem aspectos da tradição do país, vistos como de qualidade superior, características singulares e primazia encontradas nos alimentos típicos, provenientes de seus atributos físicos, sensoriais e estéticos, tendo em vista sua matéria prima, a tecnologia usada na sua produção, suas propriedades organolépticas, sua identidade e associação com uma origem geográfica (Miranda, 2008).

Existe outra questão importante neste caso: os produtos tradicionais são normalmente oriundos de pequenas unidades de produção e pequenas comunidades, que estão muitas vezes sob o risco de desaparecimento em função da acelerada urbanização do país. De fato, existem diversas justificativas para que a produção tradicional seja incentivada, como a possibilidade de melhoria das condições sociais e econômicas das comunidades envolvidas, menor pressão sobre o sistema habitacional em grandes cidades e a possibilidade do atendimento do mercado local por produtores locais, gerando renda e desenvolvimento local sustentado (Miranda e Romeiro Filho, 2008). Não se trata, naturalmente, de propor a substituição dos sistemas industriais, mas de fomentar os sistemas tradicionais como complementares ao mercado principal. Além disso, seria possível o desenvolvimento de novos mercados, como produtos de características regionais marcantes e com mercado desenvolvido (como ocorre com diversos tipos de queijo na França).

Um dos métodos mais aceitos internacionalmente para avaliação dos

impactos ambientais associados a atividades ou produtos consiste na ACV - Análise do Ciclo de Vida (Hospido et al, 2003). Essa ferramenta ou método serve como auxílio na tomada de decisão de produção de determinados produtos ou escolha de processos, considerando os impactos causados ao meio ambiente. E pode, ainda, identificar oportunidades de melhorias dos aspectos ambientais, considerando as várias fases de um sistema de produção. A ACV fornece visão geral do real impacto causado pela fabricação de certo produto, determinando as etapas críticas da produção que proporcionam altas descargas ambientais ou que consomem grandes quantidades de recursos naturais. Com isso, pode-se determinar a performance ambiental, comparando mais de um produto ou processo e avaliar qual será a melhor opção (Nigri et al, 2010).

A partir deste cenário, o objetivo deste trabalho é apresentar um estudo comparativo entre os impactos ambientais gerados por dois sistemas de produção (um industrial e outro artesanal) de um mesmo produto, por meio do método Ecoindicador 99. Espera-se que os resultados sejam úteis na definição de critérios para avaliação de sistemas de produção tradicionais em países em desenvolvimento, contribuindo para a melhoria dos processos de base artesanal e a valorização dos métodos tradicionais de produção. Para a realização desta pesquisa foi escolhido o doce de leite, que é produzido por diferentes empresas, desde grandes laticínios até pequenos produtores artesanais (Demiate et al, 2001). A metodologia adotada nesta pesquisa corresponde à Análise do Ciclo de Vida, conforme descrita por Roy et al (2009) e Chen e Corson (2014).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O doce de leite

Trata-se de um produto obtido por concentração e ação do calor na pressão normal ou reduzida do leite ou do leite reconstituído, com ou sem adição de sólidos de origem láctea e/ou creme

adicionado de sacarose (Brasil, 1997). A pesquisa foi realizada em Minas Gerais, região responsável por mais da metade da produção brasileira (Machado *et al.*, 2003), onde o doce de leite é considerado alimento tradicional. A produção de doce de leite Em Minas Gerais é feita por muitas empresas, desde grandes laticínios até pequenos produtores artesanais. Embora produtores industriais de doce de leite possuam mais capacidade de investimento na redução de impactos ambientais devido ao seu alto volume de produção, esta pesquisa demonstrou que a produção artesanal de doce de leite proporciona menos impacto ambiental.

A produção de doce de leite concentra-se no Brasil e Argentina (Demiate *et al.*, 2001). Estudos sobre este produto não são recentes, embora sejam realizados primordialmente por pesquisadores dos dois países. GAZE *et al.* (2015) avaliam os parâmetros intrínsecos de qualidade do produto, enquanto FERREIRA (2012) analisa o efeito da substituição de leite por soro de leite na qualidade química e sensorial do doce de leite. Konkel *et al.* (2004) e Silva *et al.* (2014) analisam os efeitos da adição de amido ao produto, fonte de fraudes que reduzem sua qualidade ao consumidor. Não foram encontrados na revisão de literatura trabalhos relacionados à Análise do Ciclo de Vida deste produto.

2.2. Análise do ciclo de vida

Segundo Chehebe (1998), a análise do ciclo de vida é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) à disposição do produto final (túmulo). A ACV de um produto pode ser definida como o conjunto das etapas necessárias para que este cumpra sua função, desde a obtenção dos recursos naturais usados na sua manufatura até a sua disposição final (Santos, 2006). A ACV é um instrumento para avaliação dos impactos ambientais associados a um produto ou processo,

compreendendo todas as etapas de desenvolvimento e/ou produção a partir do princípio de que eles são interdependentes, o que significa que uma operação leva à próxima. A avaliação é feita a partir da visão sistêmica e da perspectiva do deslocamento de uma carga ambiental entre estágios do ciclo de vida identificando pontos negativos e a possibilidade de se evitá-los (Finkbeiner *et al.*, 2006). A ACV considera etapas que vão desde a retirada das matérias-primas elementares da natureza até a disposição final do produto após o uso, em uma perspectiva “*cradle to grave*” (Fava *et al.*, 1994; Consoli *et al.*, 1993; Chehebe, 1998), ou mesmo abordagens ainda mais amplas, propondo uma análise “*cradle to cradle*” (McDonough e Braungart, 2002). Além dessas abordagens, dependendo do estudo em questão, também se pode delimitar fronteiras como “*cradle to gate*” (Durucan *et al.*, 2006) e “*gate to grave*” (Blowers and Lownsburry, 2010).

A ACV fornece a estimativa dos impactos ambientais por fases e em totalidade do ciclo de vida de um produto ou processo, considerando impactos gerados por etapas anteriormente rejeitadas por processos tradicionais, como o descarte do produto final, por exemplo. Ao incluir os impactos ao longo do ciclo de vida, a ACV oferece a visão abrangente dos aspectos ambientais do produto ou processo e uma imagem mais precisa e verdadeira de *trade-offs* em produtos e processos de seleção (SAIC, 2006). A ACV tornou-se uma ferramenta de apoio à decisão de grande valor, que pode ser usada pelos fabricantes, fornecedores, clientes, decisores políticos e outros interessados (Jeswani *et al.*, 2010). Ela surgiu da necessidade de se estabelecer uma metodologia que facilitasse a análise e a comparação dos impactos ambientais entre as atividades de uma empresa, incluindo seus produtos e processos. Um dos objetivos da ACV é estabelecer metodologia confiável e que possa ser reproduzida a fim de possibilitar a decisão, entre várias atividades, por aquela que terá menos

impacto ambiental. Além disso, a ACV preocupa-se com a preservação ambiental aliada ao desenvolvimento tecnológico e tem como função transformar os fluxos de materiais de forma cíclica e ecológica, em que o processo engloba desde a captação dos recursos naturais até o descarte final, considerando, ainda, aspectos como: reciclagem e reaproveitamento (Hinz, 2007).

2.2.1. As fases da acv segundo as normas iso

Segundo a norma ISO 14040 (1997), a ACV é dividida em quatro fases bem definidas: a) definição do objetivo e escopo; b) análise de inventário; c) análise de impacto; d) interpretação de resultados. Na figura 1, Chehebe (1998) apresenta as fases do ACV com suas características e relações.

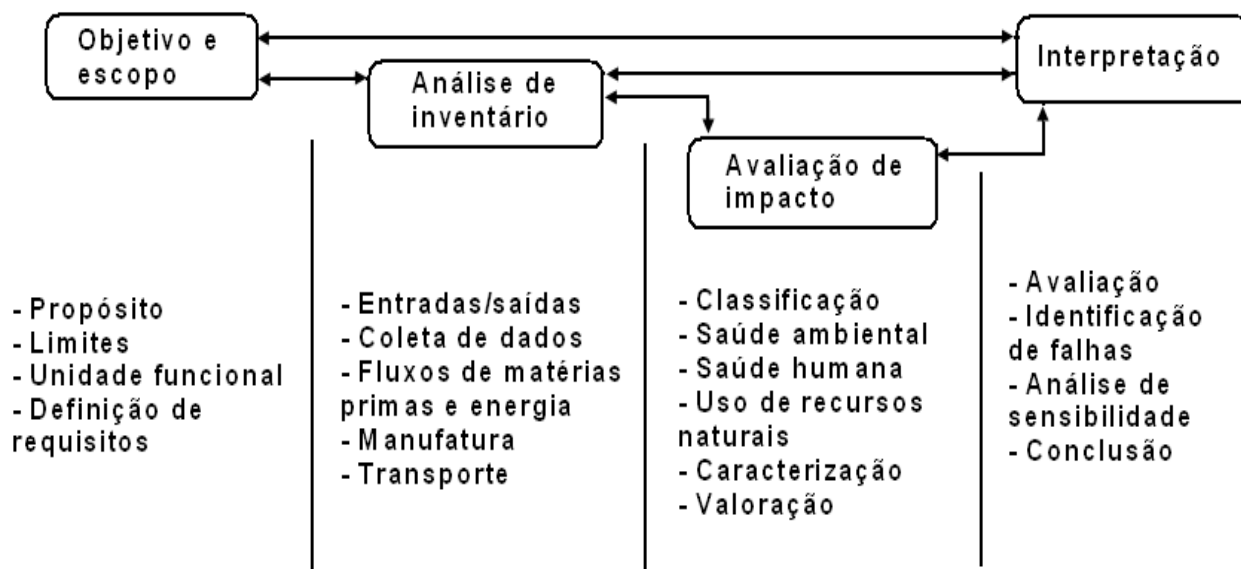


Figura 1 - Fases da ACV. Fonte: Chehebe (1998)

2.2.1.1. Definição de objetivo e escopo

Nessa fase de ACV o objetivo deve ser definido de forma clara e consistente para que a aplicação da metodologia seja viável. O escopo indica o sistema do processo ou produto que será analisado, delimitando suas fronteiras e demais características funcionais do estudo (Elcock, 2007).

Segundo a norma ISO 14041 (1998), na definição do escopo de um estudo da ACV devem ser considerados e claramente descritos os seguintes itens:

As funções do sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, dos sistemas, ou seja, a finalidade para a qual o produto estudado se destina ou, ainda, a característica de desempenho do produto; a unidade funcional, que é uma medida que permite a quantificação da função definida. Ela representa o desempenho das saídas funcionais do sistema de produto. Portanto, a unidade funcional deve ser claramente definida e mensurável, a fim de assegurar a comparabilidade de resultados da ACV; o sistema de produto a ser estudado, ou seja, a finalidade para a qual o produto estudado se destina ou, ainda, a característica de desempenho do produto; as fronteiras do sistema de produto, que

definem quais processos elementares ou subdivisões dos sistemas de produto dentro do fluxo produtivo serão incluídos no sistema a ser modelado. É ideal que as e saídas sejam fluxos elementares;

2.2.1.2. Análise de inventário

No ciclo de vida de um produto, o inventário refere-se à coleta de dados, sendo eles classificados e agrupados de acordo com categorias determinadas e são atribuídos valores de acordo com

escala de importância previamente definida, de forma que o balanço de massa e energia seja calculado (Valt, 2004).

Conforme a norma ISO 14041 (1998), a análise de inventário do ciclo de vida envolve a coleta de dados e os procedimentos de cálculo, a fim de quantificar: as entradas de energia, de matéria-prima, auxiliares e outras entradas físicas; e os produtos e as emissões atmosféricas, os efluentes líquidos, os resíduos sólidos e outros aspectos ambientais.

2.2.1.3. Avaliação de impacto

Após a coleta de dados, sua validação e quantificação, ou seja, após o término do inventário de dados, passa-se à etapa de avaliação de impacto do ciclo de vida. Nessa etapa, é calculado o impacto ambiental gerado durante o ciclo de vida do produto ou processo em questão. Para isso, são selecionadas categorias de impacto em que se utilizam indicadores para quantificar emissões, uso de recursos e demais impactos de acordo com as categorias escolhidas. Os indicadores fornecem os potenciais impactos ambientais (HINZ, 2007).

2.2.1.4. Interpretação

De acordo com a norma ISO 14040 (1997), a interpretação é a fase da ACV na qual as constatações da análise do inventário e da avaliação de impacto ou, no caso de estudos de inventário do ciclo de vida, somente os resultados da análise de inventário são combinados de forma consistente com o objetivo e o escopo definidos, visando alcançar conclusões e recomendações.

Na fase de interpretação devem-se identificar os pontos significativos baseados nos resultados do estudo tais como emissões, energia e outros. Deve-se também assegurar que toda a informação relevante para a interpretação esteja completa, verificando se os resultados são afetados pela incerteza durante a aplicação de métodos ou cálculos. Por

fim, verificar se as conclusões estão consistentes com os requisitos do objetivo e âmbito do estudo, incluindo, em particular, requisitos de qualidade dos dados, suposições e valores pré-definidos (Ribeiro, 2009).

2.3. Simapro7

Desenvolvido pela Pre Consultants, é o software de ACV mais utilizado no mundo. O SimaPro está integrado a um banco de dados conhecido como ecoinvent que contém informações sobre impactos ambientais gerados por uma vasta gama de produtos e processos, além de métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida como o eco indicator 99 (NIGRI, 2012).

2.4. Método eco-indicator 99

O método eco-indicator 99 foi desenvolvido na Holanda com a finalidade de mensurar os impactos ambientais e aloca-los num único escore (Takeda, 2008).

A normalização utilizada no eco-indicator 99 é baseada em informações europeias para as emissões no ar e baseada em dados holandeses para emissões na água e no solo. A normalização também se baseia na emissão de determinada carga ambiental anual, em função do número de habitantes europeus (Goedkoop; Spriensma, 2000).

A ponderação procura medir ou comparar o grau de importância entre os potenciais impactos ambientais, aferindo-lhes valores, ou seja, a cada categoria de impacto é atribuído um valor numérico adimensional. O resultado do valor pela quantidade calculada resulta num ecoponto (Goedkoop; Spriensma, 2000).

Uma das grandes dificuldades na ACV é a valoração dada a diferentes impactos ambientais sob o ponto de vista comparativo. Para lidar com essa dificuldade, três perspectivas diferentes foram desenvolvidas: a) hierárquica; b) individualista; c) igualitária (Nigri, 2012). A versão individualista inclui relações de efeito apenas com causa comprovada e com perspectiva de curto prazo. Essa perspectiva não considera que, em longo

prazo, o dano será corrigido mesmo com a evolução da ciência e da sociedade. A hierárquica inclui fatores que são apoiados por comunidades científicas e políticas. Essa visão é bastante comum na comunidade científica. Diretrizes estabelecidas pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) são aceitas nessa versão. Já a versão igualitária utiliza o princípio da precaução. Mesmo em caso de incerteza quanto à relação de causa e dano, os dados serão inclusos na análise (Goedkoop; Spriensma, 2000).

Os resultados da análise realizada pelo método são expostos em millipoints (mPt), que podem ser alocados por categoria de impacto ambiental ou por processo/insumo produzido alocando-se pontuação referente aos diferentes impactos ambientais num único escore. Os resultados também podem ser expressos em porcentagem absoluta (Nigri, 2012).

3.1. Estudo de caso: objetivo e escopo

Conforme mencionado, o objetivo do presente trabalho é a geração de um estudo comparativo entre os impactos ambientais gerados em dois diferentes sistemas de produção, um industrial e outro artesanal do produto doce de leite.

A coleta de dados referente ao processo produtivo, insumos utilizados na produção e transporte de produto foram realizados em dois diferentes produtores de doce de leite, um artesanal e outro industrial. Todas as informações disponíveis foram tomadas de forma a determinar a unidade funcional e os limites do sistema analisado após o refinamento dos dados.

As etapas de produção tanto para o doce de leite artesanal quanto para o industrial foram estabelecidas e estão expostas na figura 2. A unidade funcional adotada foi de 400 g de doce de leite, quantidade em massa de produto comumente encontrada em mercados, o que justifica a escolha.

Os limites do sistema foram definidos de forma a possibilitar a comparação entre os impactos ambientais gerados na produção de doce de leite artesanal e industrial e, também, definidos em função dos dados disponíveis para o estudo. Observe que na figura 2 os sistemas e subsistemas foram definidos de forma semelhante, exceto pelos subsistemas 3 e 8 que estão presentes somente no processo industrial. Essa formação permitirá a comparação entre impactos ambientais gerados em função de cada subsistema adotado. Ainda com relação aos limites do sistema, pela indisponibilidade de dados, os impactos ambientais referentes à produção de bicarbonato de sódio, sorbato de potássio e fermento em pó, não foram considerados no estudo. Em relação ao transporte, foi considerado do leite (principal matéria-prima do doce de leite) e do produto final. O transporte dos demais subprodutos não foi considerado na análise devido à sua reduzida quantidade no processo e dificuldade de localização do local de origem. O ciclo de vida do maquinário utilizado durante o processamento dos produtos em ambos os processos também não foi considerado. Para ambos os produtores, artesanal e industrial, como embalagem de produto final foi selecionado um recipiente plástico pp de massa de 18 gramas. Sendo esta uma das possíveis opções de embalagem fornecida por ambos os produtores, facilitando o estudo comparativo.

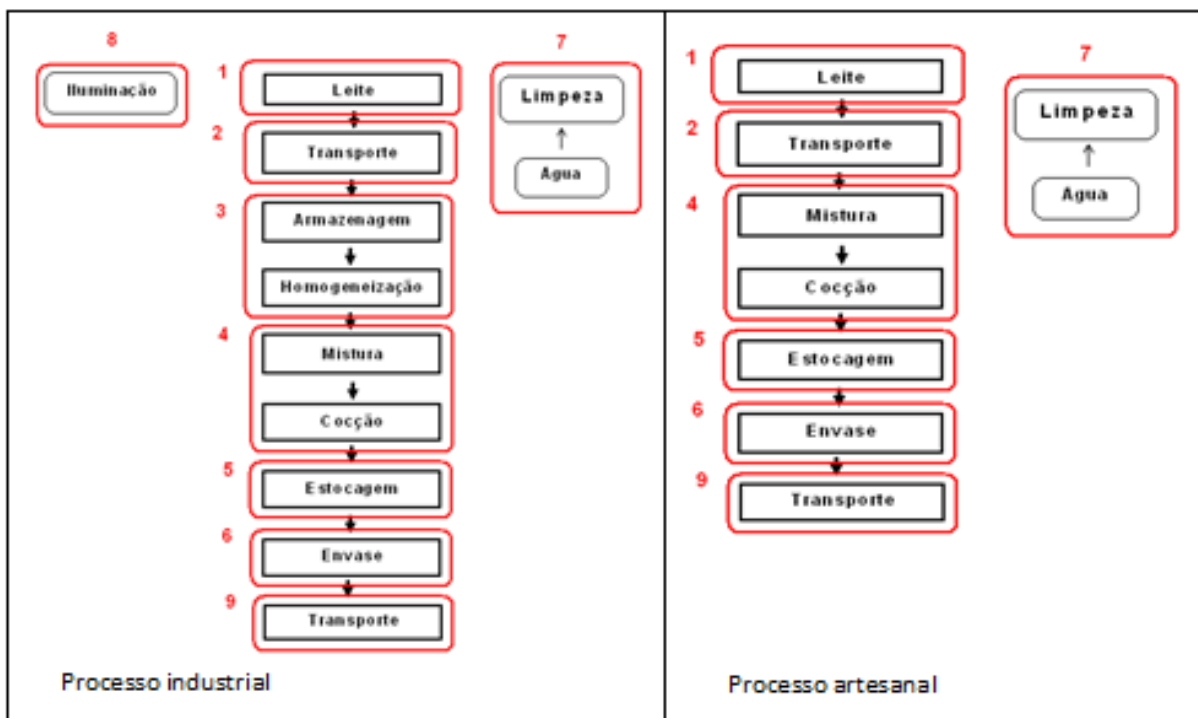


Figura 2 - Processos industrial e artesanal do doce de leite dividido em subsistemas

3.1.1. Descrição do processo produtivo do doce de leite industrial e artesanal

Sendo o leite seu principal insumo, a produção do doce de leite artesanal inicia-se com a sua produção. O leite é produzido em uma fazenda que dista 1 km do local em que é produzido o doce. O leite transportado é colocado em tachos para fervura, que é feita em fogão industrial com a utilização de GLP como energia. Durante o aquecimento do leite são acrescentados açúcar, bicarbonato de sódio e fermento. O processo tem duração de aproximadamente três horas e a mistura deve ser mexida regularmente até que atinjam a cor e a consistência desejadas. O doce de leite é retirado do tacho e colocado em um vasilhame. Do vasilhame, é transferido para potes de plástico em quantidades que variam de acordo com o pedido do cliente. O doce de leite que permanece na fábrica é acondicionado em recipientes de vidro para manter sua qualidade e colocado em prateleiras para venda. Todo o processo produtivo do doce de leite artesanal é feito de forma manual e não há gasto com energia elétrica no processo.

O processo industrial de fabricação de doce de leite não varia muito em

comparação como o processo artesanal, que também se inicia com a produção do leite. O leite produzido é transportado até a fábrica e é armazenado em tanque refrigerado. É homogeneizado e levado a um tanque de mistura onde são adicionados bicarbonato de sódio, sorbato de potássio para conservar o produto e açúcar. A mistura é aquecida e mantida em movimento até que também se obtenham a cor e a consistência desejadas. O doce de leite pronto segue para um tanque de estocagem mantendo-se a movimentação até ser enviado à máquina injetora para o envase. É então envasado, embalado e segue para o transporte. O processo industrial de produção do doce de leite utiliza lenha como energia para aquecimento. Também é utilizada energia elétrica para funcionamento de bombas de movimentação do leite e do doce na linha e para manter o processo em mistura. A figura 3 esquematiza o ciclo de vida do doce de leite industrial e do doce de leite artesanal.

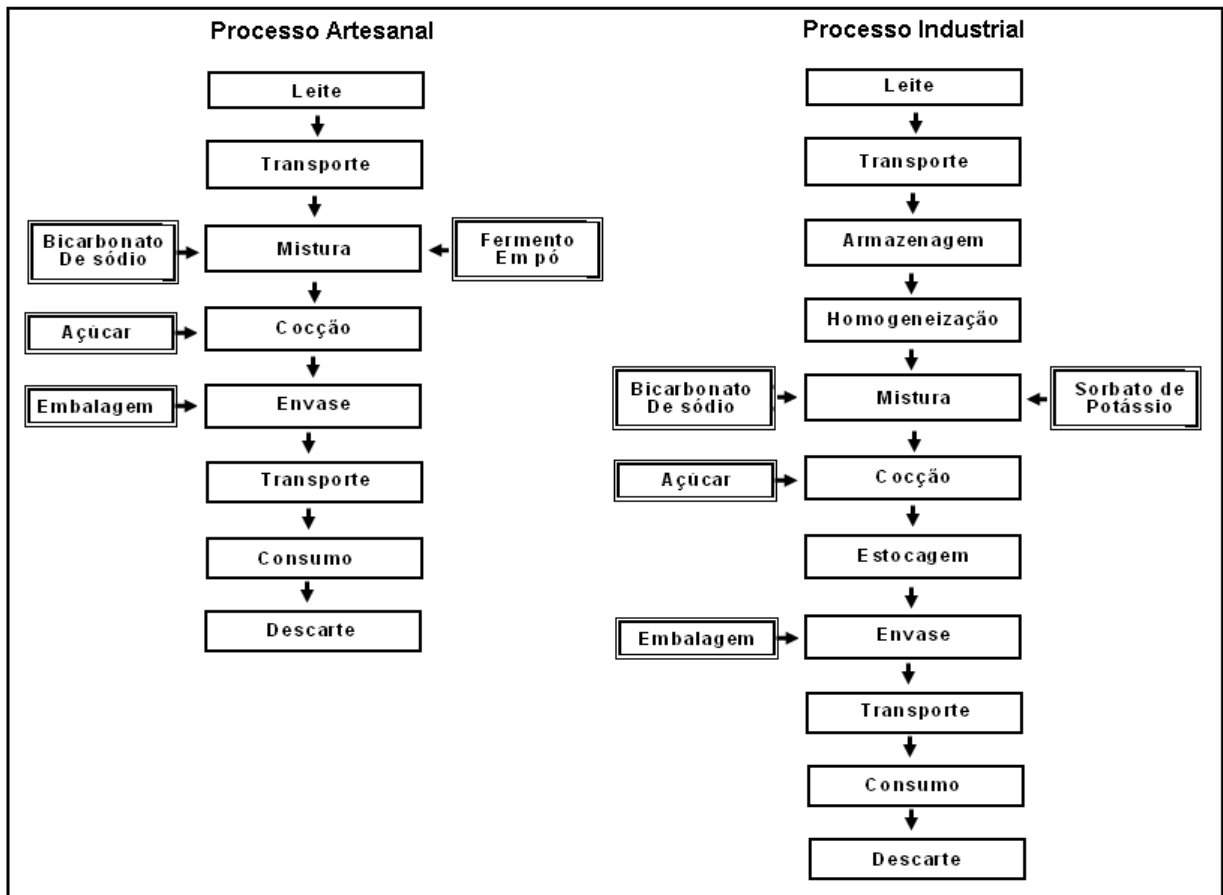


Figura 3 – Ciclo de vida do doce de leite artesanal e do doce de leite industrial

3.1.2. Características dos produtores de doce de leite visitados

O produtor de doce de leite artesanal visitado está situado na cidade de Roças Novas, a 50 km de Belo Horizonte, é tradicional e consiste em um negócio de família. Possui um ponto de venda anexado à fábrica e já é bastante conhecido, por suas características rústicas e pela degustação. Processa pouco mais de 1.000 litros de leite por mês e produz doces de sabores e tipos variados, tanto em barra quanto em pasta, e também licores de sabores variados. Sua produção é feita de acordo com a demanda e a maior parte dela é vendida por encomenda. Seu processo produtivo é planejado de maneira a produzir a quantidade que será vendida para que não haja perda. Esse produtor mantém contato constante com a fazenda fornecedora de leite, de forma que o leite é enviado à fábrica na quantidade necessária e no horário marcado. Com isso, não há gastos com estocagem de leite. O doce em pasta

produzido é vendido em potes de plástico ou de vidro.

O produtor de doce de leite industrial visitado é conhecido nacionalmente por sua tradição na fabricação de doce de leite em pasta e pela alta qualidade de seu produto. Seu principal produto, o doce de leite em pasta tradicional, é produzido há mais de 25 anos e já foi premiado diversas vezes no cenário nacional. Sua fábrica está situada na cidade de Viçosa, a 230 km de Belo Horizonte, e produz também iogurtes, requeijão, manteiga e leite. Esse produtor possui pontos de venda em todos os estados brasileiros e processa diariamente 15.000 litros de leite. Seu produto é comercializado em latas de 10 kg e 800 g e também em potes de 400 g.

3.2. Estudo de caso: análise de inventário

A quantidade de cada insumo utilizada na produção de doce de leite bem como o fluxo de material estão expostos nas figuras 4 e 5 para os produtores industrial

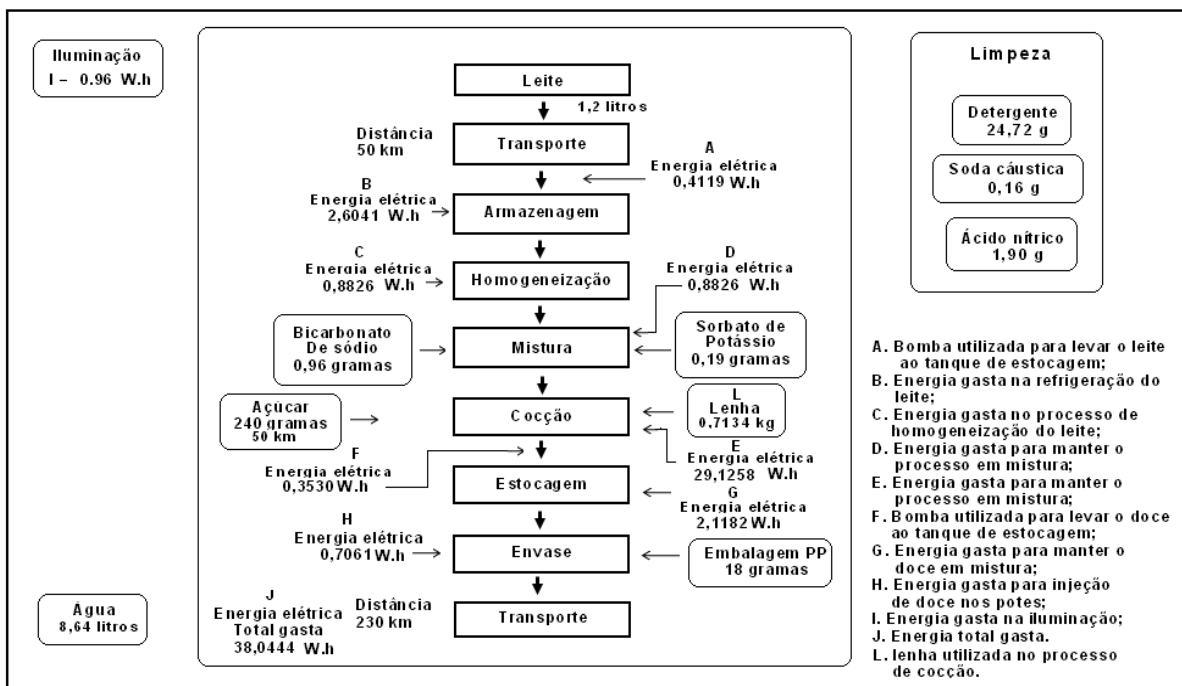


Figura 4 - Insumos utilizados na produção de 400 g de doce de leite industrial

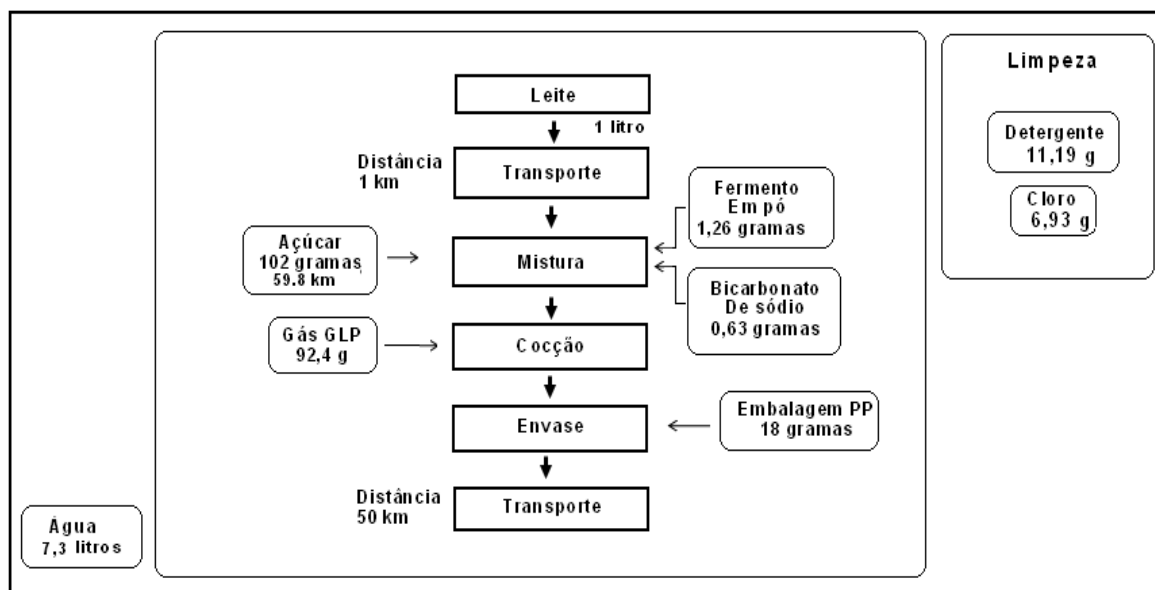


Figura 5 - Insumos utilizados na produção de 400 g de doce de leite artesanal

e artesanal respectivamente. Os valores foram calculados em razão da unidade funcional.

A quantidade dos insumos como açúcar, leite, bicarbonato de sódio e sorbato de potássio foram tomadas em batelada e, seu valor final foi obtido em função da produção de 400 g de doce de leite. A energia elétrica foi obtida utilizando-se a potência de cada aparelho elétrico envolvido no processo em função do tempo de uso do mesmo que também foi anotado durante a produção do doce de

leite. Da mesma forma, a quantidade de gás liquefeito de petróleo (GLP) utilizada na fabricação de doce de leite artesanal foi calculada a partir de dados do fabricante e medição do tempo de funcionamento do fogão utilizado no processo.

A quantidade de lenha utilizada no processo de fabricação industrial de doce de leite foi fornecida em metros cúbicos e posteriormente transformada em quilogramas com a utilização de dados bibliográficos. As emissões de gases e

particulados referentes à queima da lenha também foram obtidas em pesquisa bibliográfica, exceto para o CO₂ que foi calculado.

A quantidade de água utilizada no processo foi obtida por meio de uma média entre gastos e produção mensais e, por fim, os produtos de higienização foram calculados em função também de gastos periódicos.

O quadro 1 apresenta a comparação entre os insumos gastos na produção do doce de leite industrial e do doce de leite artesanal. Observa-se que o produtor artesanal não utilizou sorbato de potássio, soda cáustica, ácido nítrico, lenha e energia elétrica em sua produção. Em contrapartida, o produtor industrial não usou fermento e cloro.

Quadro 1 - Insumos utilizados na produção de doce de leite artesanal e industrial por unidade funcional

Insumo	Unidade	Produção Industrial	Produção Artesanal
Leite	Litros	1,20	1,00
Açúcar	Gramas	240,00	102,00
Bicarbonato de sódio	Gramas	0,96	0,63
Sorbato de potássio	Gramas	0,19	..
Fermento	Gramas	..	1,26
Plástico	Gramas	18,00	18,00
Detergente	Gramas	24,72	11,19
Soda cáustica	Gramas	0,16	..
Ácido nítrico	Gramas	1,90	..
Cloro	Gramas	..	6,93
Água	Litros	8,64	7,3
Lenha	Gramas	713,40	..
Energia elétrica	Watt/hora	38,04	..

Sobre a caracterização de efluentes líquidos, os dados referentes à geração por parte de produtores artesanais não foram encontrados na literatura e sua medição não foi possível. Além disso, os

dados encontrados em pesquisa bibliográfica para produtores industriais, ou seja, em indústria de laticínios, apresentavam grande variação. Contudo, uma mesma base de dados característica de produtores em Minas Gerais foi utilizada tanto para o produtor industrial quanto para o artesanal, a fim de que não gerasse diferença na comparação entre processos, porém, que permitisse a comparação entre etapas de um mesmo processo.

Quadro 2 – Emissões geradas (parte) na produção de doce de leite industrial e de doce de leite para 400 g de produto

Elemento	Meio	Produção Industrial	Produção Artesanal
Amônia	Ar	5,98 g	4,94 g
DBO	Água	17,77 g	15,61 g
Dióxido de carbono	Ar	1,35 kg	327,91 g
Monóxido de carbono	Ar	3,76 g	615,14 mg
DQO	Água	26,07 g	22,73 g
Metano	Ar	24,87 g	20,62 g
Óxidos de nitrogênio	Ar	2,63 g	2,05 g
VOC	Ar	859,98 mg	798,58 mg
MP < 10 um	Ar	2,34 g	31,05 mg
MP < 2,5 um	Ar	1,96 g	38,09 mg
Fosfatos	Água	383,17 mg	346,32 mg
Nitratos	Água	29,76 g	26,83 g
Sulfatos	Água	1,40 g	2,04 g
Dióxido sulfúrico	Ar	676,35 mg	604,18 mg
Óxido sulfúrico	Ar	1,34 g	857,97 mg

Os dados referentes às emissões atmosféricas e efluentes gerados na produção dos insumos, no processo de fabricação do doce de leite, exceto lenha, e, também, no transporte do leite e do produto final foram acessados no banco de dados *ecoinvent* do *software* Simapro7. Os insumos acessados no *software* foram: leite, açúcar, soda

cáustica, ácido nítrico, detergente, plástico PP, água, GLP e energia elétrica.

O quadro 2 apresenta as principais emissões geradas na produção de doce de leite industrial e doce de leite artesanal em função da produção de 400 g de doce de leite. A lista completa das emissões geradas no processo pode ser consultada em Nigri (2012).

3.3 Estudo de Caso: Avaliação de impacto e interpretação

Com a determinação dos aspectos e impactos ambientais, foi realizada a análise comparativa dos produtos entre os processos de fabricação industrial e artesanal. As categorias de impactos ambientais avaliadas pelo Eco-indicador 99 utilizado pelo Simapro foram: carcinógenos, respiração de partículas inorgânicas, respiração de partículas orgânicas, mudanças climáticas, radiação, depleção da camada de ozônio, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização, uso da terra, minerais e combustíveis

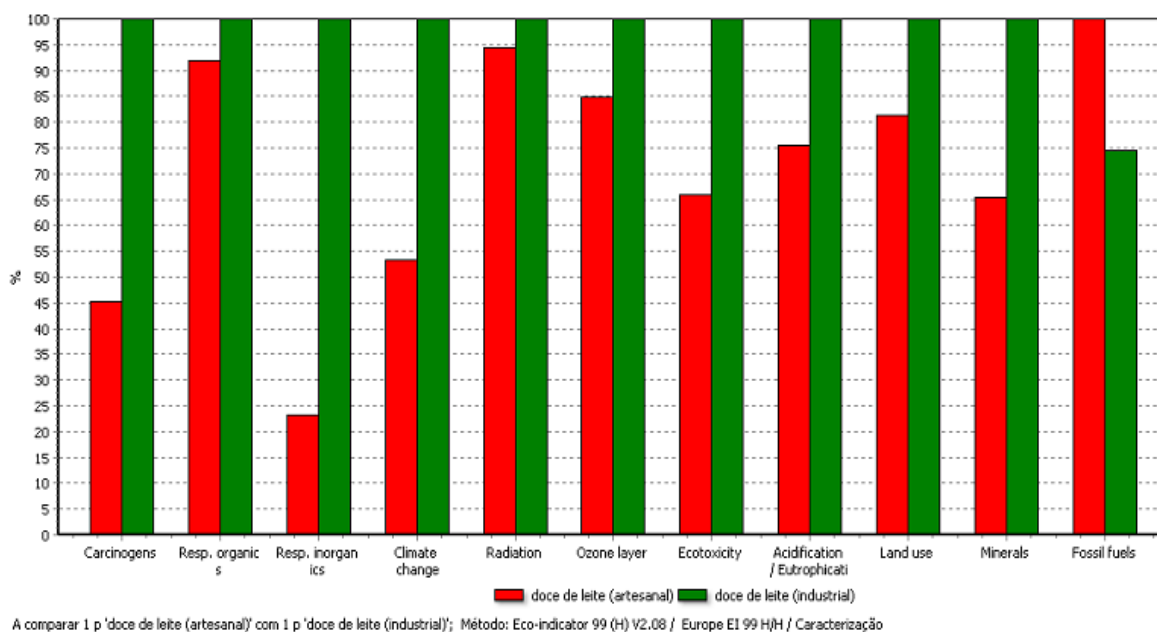


Gráfico 1 – Comparação entre impactos ambientais gerados pelo ciclo de vida do doce de leite industrial e do doce de leite artesanal em porcentagem absoluta

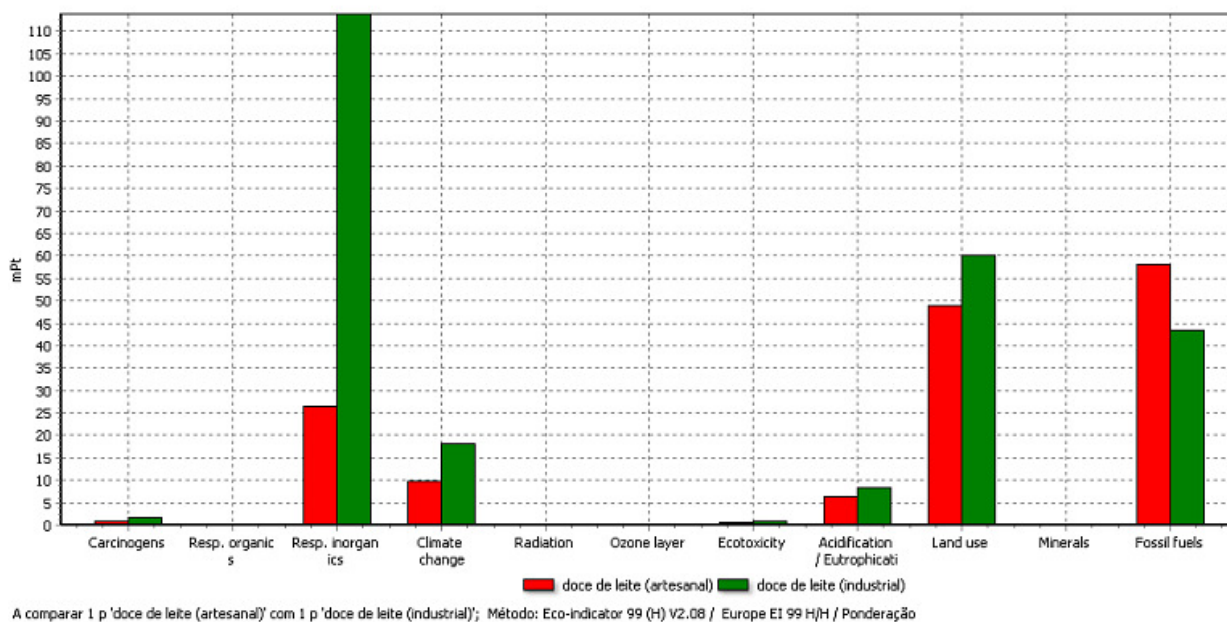


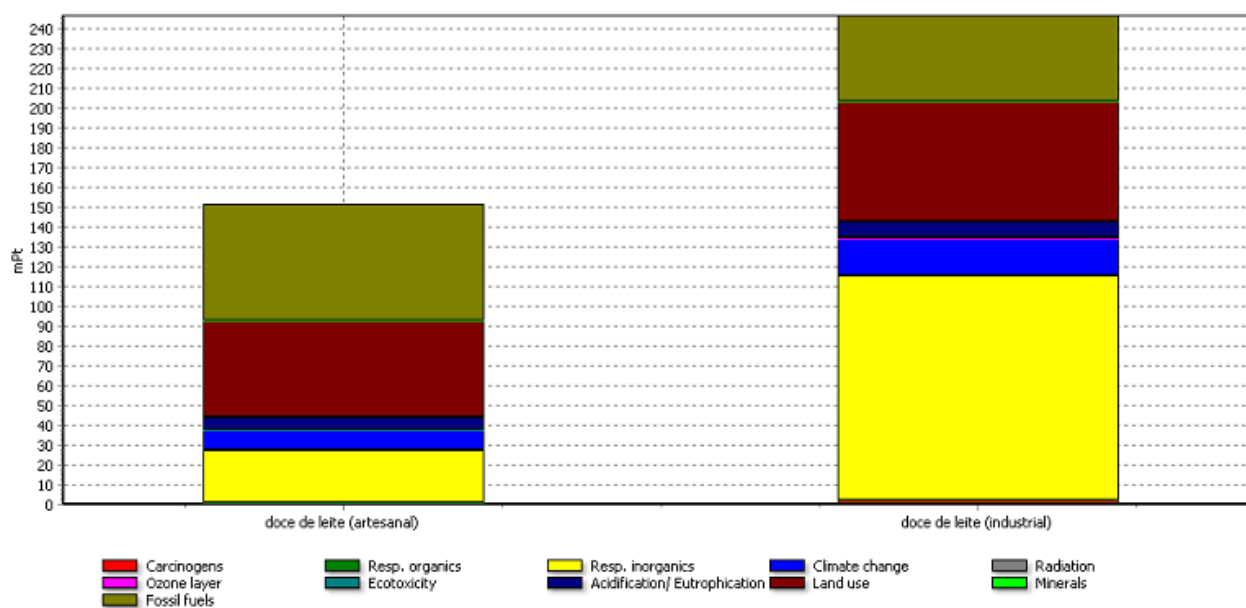
Gráfico 2 – Comparação por categoria de impacto ambiental entre o ciclo de vida do doce de leite industrial e do doce artesanal pelo critério de ponderação

fósseis. O método de avaliação de impacto do ciclo de vida, Eco-indicator 99, foi utilizado neste estudo, com perspectiva hierárquica cuja normalização é feita em um contexto europeu.

O gráfico 1 compara os impactos ambientais gerados pelo ciclo de vida do doce de leite industrial com o ciclo de vida do doce de leite artesanal. Os impactos ambientais gerados pelo doce de leite industrial são superiores aos gerados pelo doce de leite artesanal em quase todas as categorias de impacto, exceto a queima de combustíveis fósseis. A respiração de partículas inorgânicas foi a de maior discrepância na comparação. A diferença observada na categoria “combustíveis fósseis” se deve ao seu alto fator de peso, ou seja, o indicador de impacto atribui um peso maior quando de utiliza gás GLP como combustível em comparação com lenha. No gráfico 2 encontra-se a comparação por categoria de impacto ambiental entre o ciclo de vida do doce de leite industrial e o ciclo de vida do doce de leite artesanal pelo critério de ponderação. As categorias de impacto “respiração de partículas inorgânicas”, “uso da terra” e “queima de combustíveis fósseis” foram responsáveis por praticamente todo o impacto ambiental gerado em ambos os processos

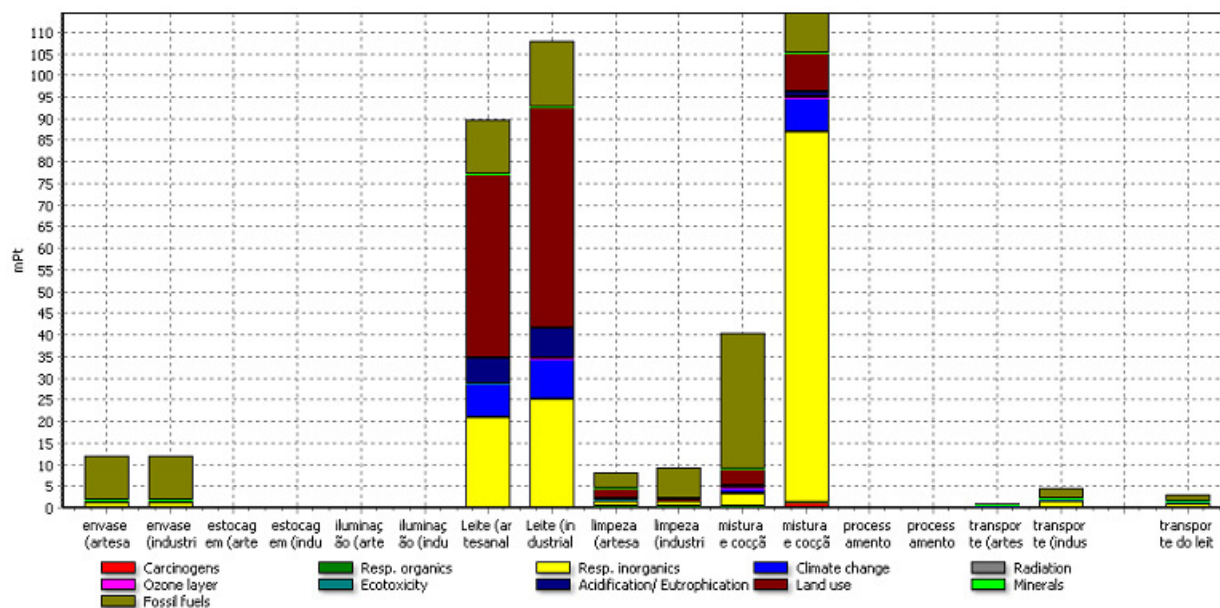
(industrial e artesanal). Em menos quantidade aparecem as categorias de mudança climática e acidificação/eutrofização. As demais categorias de impacto ambiental são desprezíveis em comparação com a categoria respiração de inorgânicos. Observa-se também que os impactos ambientais gerados pelo produtor industrial são superiores aos gerados pelo produtor artesanal (exceto na utilização de combustíveis fósseis) e, ainda, que existe mais discrepância entre os processos (industrial e artesanal) na categoria de impacto *respiração de partículas inorgânicas*. A comparação entre o impacto ambiental gerado pelo doce de leite industrial e o impacto ambiental gerado pelo doce de leite artesanal utilizando o critério de pontuação única pode ser vista no gráfico 3. O impacto ambiental total gerado pelo doce de leite industrial foi maior que o impacto gerado pelo produtor artesanal, destacando-se as categorias de impacto: respiração de inorgânicos, uso da terra e queima de combustíveis fósseis.

O gráfico 4 exibe a comparação entre impactos ambientais gerados pelo doce de leite industrial e o doce de leite artesanal por etapas do ciclo de vida. Pode-se observar que a etapa de mistura e cocção foi a principal geradora de



A comparar 1 p 'doce de leite (artesanal)' com 1 p 'doce de leite (industrial)'; Método: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/H / Pontuação única

Gráfico 3 – Comparação entre os impactos ambientais gerados pelo ciclo de vida do doce de leite industrial e artesanal apresentados em pontuação única



A comparar processos; Método: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/H / Pontuação única

Gráfico 4 – Comparação entre impactos ambientais gerados por etapas do ciclo de vida industrial e artesanal do doce de leite.

impacto no processo industrial do doce e que proporcionou a maior discrepância na comparação feita entre os processos. Essa grande pontuação na etapa de mistura e cocção se deveu ao uso de lenha e energia elétrica na geração de energia térmica e elétrica.

3.4. Considerações

De acordo com os resultados apresentados o doce de leite produzido pelo processo de fabricação industrial apresentou mais impacto ambiental gerado em seu ciclo de vida quando comparado ao doce de leite produzido pelo processo artesanal. Esse resultado se deve, principalmente, a diferenças entre gastos energéticos nos processos de mistura e cocção (gráfico 4). No processo de fabricação industrial de doce, a mistura é feita por motores movidos à energia elétrica enquanto que no processo de fabricação artesanal, a mistura é feita de forma manual.

Na avaliação feita de forma individual, ou seja, entre etapas de um mesmo ciclo de vida, o doce industrial teve a etapa de mistura e cocção como a maior geradora de impacto ambiental, seguida da produção de leite. As demais etapas não apresentaram impactos significativos

quando comparadas as duas cidades. Isto pode ser observado no Gráfico 4, considerando apenas as etapas do processo industrial. Já o doce artesanal teve a etapa de produção de leite como a maior geradora de impacto ambiental, seguida da etapa de mistura e cocção, envase e limpeza, que também pode ser observado no Gráfico 4, considerando apenas as etapas de produção artesanal. As demais etapas não apresentaram impactos significativos quando comparadas ao processamento de leite. É válido salientar que os dados referentes aos impactos ambientais gerados na etapa de produção de leite são europeus e foram alocados ao ciclo de vida do doce de leite.

Na comparação entre categorias de impacto ambiental, a categoria respiração de partículas inorgânicas gera mais impacto no processo industrial, isso devido principalmente à queima de lenha para aquecimento (gráfico 4). O uso da terra e queima de combustíveis fósseis também se destacam e são gerados na produção de leite e geração de energia elétrica. Em relação ao processo artesanal, a queima de combustíveis fósseis foi a categoria que mais contribuiu na geração de impacto ambiental. Este é gerado pela queima de

gás GLP para aquecimento. O uso da terra também apresentou impacto significativo.

4. CONCLUSÕES

Os resultados da análise revelaram que o doce de leite fabricado de forma artesanal apresentou menor impacto ambiental quando comparado ao doce de leite industrializado. O maior impacto ambiental gerado pelo doce industrializado se deve, principalmente, a diferenças entre gastos energéticos nas etapas de mistura e cocção. Nesta análise esperava-se que as etapas de transporte em ambos os processos apresentassem impactos ambientais significativos e que os produtos artesanais tivessem melhor desempenho ambiental, devido principalmente a essas etapas, o que não foi constatado. Por outro lado, pode-se inferir que existem diferenças significativas no que diz respeito ao transporte, tendo em vista que, na maior parte dos casos, a região atendida por pequenos produtores restringe-se à localidade onde a unidade produtiva é localizada. A produção industrial, ao contrário, normalmente possui uma rede de distribuição que abrange uma região maior, levando o produto a maiores distâncias até o mercado consumidor, normalmente por via rodoviária (por caminhões movidos a óleo diesel).

É válido ressaltar também que o software utilizado se baseia em dados europeus que podem não refletir a realidade do ambiente em que o estudo foi realizado. Isto pode ser questionado por diversos fatores, um deles decorre de que a energia elétrica gerada no Brasil, em grande parte, é fornecida por hidroelétricas, que não necessitam da queima de combustíveis fósseis para sua geração. Outro fator se refere ao avaliador de impacto que, conforme os resultados obtidos, considera o impacto gerado na queima de gás GLP bem superior ao impacto gerado na queima de lenha. Salientando-se que não se questiona que a queima de gás GLP seja mais prejudicial à queima de lenha, porém, o quanto é mais prejudicial.

Outra questão importante relaciona-se à possibilidade de uma mudança no modelo de produção como um todo, adotando-se meios de produção artesanal ao invés da produção industrial. Embora o impacto ambiental gerado pelo produtor artesanal seja menor, sua produção em pequena escala não é atualmente capaz de atender à demanda pelo produto, o que inviabilizaria a utilização apenas da produção artesanal para suprimento do mercado. Não é objetivo de este trabalho propor tal mudança, mas chamar a atenção para uma oportunidade de redução dos impactos ambientais, ao mesmo tempo em que se privilegiam meios de produção tradicionais, que geram maior número de empregos e renda em países ou regiões normalmente carentes em termos econômicos. Neste caso, os sistemas artesanais podem funcionar como complemento importante à produção industrial, especialmente para abastecimento de pequenos mercados locais, utilizando leite e outros recursos produzidos também localmente.

Um complemento do incentivo à produção local deve ser o apoio governamental à adoção de boas práticas de produção por parte dos produtores artesanais. Como exemplo, uma forma de redução do impacto ambiental na produção de doce é minimizar as perdas do leite (produto responsável por grande parte do impacto ambiental gerado) durante o processo produtivo, reduzindo-se assim o desperdício. Outra ação complementar seria a melhoria do processo de produção do leite, ou seja, melhoria nas práticas agrícolas. Além disso, a incorporação de novas tecnologias e o uso de fontes de energia menos poluentes na produção também possibilitariam a redução de impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

BLOWERS, P. and LOWNSBURY, J. M. 2010 Carbon Dioxide Emission Implications if Hydrofluorocarbons are Regulated: A Refrigeration Case Study. *Environ. Sci. Technol.*, 44 (5), 1526–1529. DOI: 10.1021/es9023354

- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. 1997. *Portaria nº 354 de 04 de setembro de 1997*. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/das/dipoa/port354.html>. Acesso em: janeiro de 2012.
- CHEHEBE, J.R.B. 1998 *Análise do ciclo de vida de produtos*. Rio de Janeiro: Qualitymark.
- CHEN, X., CORSON, M.S. 2014. Influence of emission-factor uncertainty and farm-characteristic variability in LCA estimates of environmental impacts of French dairy farms. *Journal of Cleaner Production*, 81 (1) 150-157
- CONSOLI, F., ALLEN, D. BOUSTEAD, I., FAVA, J. FRANKLIN, W. JENSEN, A. DE OUDE, N., PARRISH, R. PERRIMAN, R. POSTLETHEWAITE, D., QUAY, B., SÉGUIN, J., VIGON, B. (Ed.) 1993. *Guidelines for life-cycle assessment: A 'Code of Practice'*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).
- DEMIATE I.M.; KONKEL F.E.; PEDROSO R.A. . Quality evaluation of commercial samples of *doce de leite* - chemical composition. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* [online]. 2001, vol.21, n.1, pp. 108-114. ISSN 1678-457X. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612001000100023>.
- DEMIATE, I.M.; KONKEL, F.E.; PEDROSA, R.A. 2001. Avaliação da qualidade de amostras comerciais de doce de leite pastoso: composição química. *Ciênc Tecnol Aliment*, Campinas, 21 (1) 108-114.
- DURUCAN, S.; KORRE, A.; MUNOZ-MELENDEZ; G. 2006 Mining life cycle modelling: a cradle-to-gate approach to environmental management in the minerals industry. *Journal of Cleaner Production*, 14, 1057-70.
- ELCOCK, D. 2007. Life-cycle thinking for the oil and gas exploration and production industry. Prepared by the Environmental Science Division, Argonne National Laboratory. ANL/EVS/R-07/5. 2007. Disponível em: http://www.evs.anl.gov/pub/dsp_detail.cfm?PubID=2154. Acesso em: junho de 2011.
- FAVA, J. A., DENISON, R., JONES, B., CURRAN, M.A. VIGON, B. SELKE, S., BARNUM, J. 1994. *A technical framework for life-cycle assessment*. Washington, DC: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) and SETAC Foundation for Environmental Education, Inc.
- FERREIRA, L.O. et al. Adição de soro de leite e café na qualidade do doce de leite pastoso. *Cienc. Rural* [online]. 2012, vol.42, n.7, pp. 0-0. ISSN 0103-8478. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000700028>.
- FINKBEINER, M., INABA, A., TAN, R.B.H., CHRISTIANSEN, K, KLÜPPEL, H. 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22 (2) 80-85.
- GAZE LV; COSTA MP; MONTEIRO MLG; LAVORATO JAA; CONTE JÚNIOR CA; RAICES RSL; CRUZ AG; FREITAS MQ Freitas. Dulce de Leche, a typical product of Latin America: Characterisation by physicochemical, optical and instrumental methods. *Food Chemistry* 15 (169) 471-477, 2015
- GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. 2000. The eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. Methodology Report. PRé Consultants b.v., Amersfoort, The Netherlands. Disponível em: <<http://www.pre-sustainability.com/content/reports>>. Acesso em: janeiro de 2012.
- HINZ, R.T.P. 2007. Aspectos e impactos ambientais associados ao processo de injeção da blenda PPO/PSAI através do inventário do ciclo de vida. Dissertação do Mestrado, Universidade do Estado de Santa Catarina.

- HOSPIDO, A.; MOREIRA M.T.; FEIOJOO, G. 2003. Simplified life cycle assessment of Galician milk production. *International Dairy Journal*, 13, 783-796.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 14040. 1997. environmental management - life cycle assessment – principles and framework. International Organization for Standardization, Geneva.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 14041. 1998. environmental management - life cycle assessment – goal and scope definition and life cycle inventory analysis. International Organization for Standardization. Geneva.
- JESWANI, H.K AZAPAGIC, A., SCHEPELMANN, P., RITTHOFF, M. 2010. Options for broadening and deepening the LCA approaches. *Journal of Cleaner Production*, 18 (2) 120-127.
- KONKEL FE; OLIVEIRA SMR; SIMOES DRS; DEMIATE, IM. Avaliação sensorial de doce de leite pastoso com diferentes concentrações de amido. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* [online]. 2004, 24 (2) 249-254. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612004000200015>.
- MACHADO, R.M.D.; TFOUNI, S.A.V.; SOUZA, G. 2003. *Doce de Leite. Agronegócio 2*. Campinas: ITAL.
- MCDONOUGH, W. e BRAUNGART, M. 2002. *Cradle to Cradle - remaking the way we make things*. London: Vintage Books.
- MIRANDA C.A.S.; ROMEIRO FILHO, E. . Desenvolvimento Sustentável e Agricultura Familiar: Valorizando os Produtos Típicos Através de Embalagens Adequadas. Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.
- MIRANDA, C.A.S. 2008. Métodos Aplicados no Design de Embalagens para Produtos Alimentícios Típicos de Base Artesanal. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais.
- NIGRI, E. M. 2012. Análise comparativa do ciclo de vida de produtos alimentícios industriais e artesanais da culinária mineira. 232 f. (Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- NIGRI, E. M., ROCHA, S. D. F., ROMEIRO FILHO, E. 2010. *Portland cement: an application of life cycle assessment*. Product (IGDP), 8, 167-172.
- RIBEIRO, P.H. 2009. Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio a avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados. 2009. 341 f. Tese Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química, São Paulo.
- ROY, P. NEI, D. ORIKASA, T., XU, Q. OKADOME, H. NAKAMURA, T. SHIINA, T. 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90 (1) 1-10
- SANTOS, L. M. M. 2006. *Avaliação Ambiental de processos industriais*. São Paulo: Signus Editora.
- SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION (SAIC). 2006. *Life cycle assessment: principles and practice*. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency. Disponível em: <<http://www.epa.gov/NRMRL/lcaccess/pdfs/600r06060.pdf>>. Acesso em: junho 2011.
- SILVA FL, FERREIDA HAL, SOUZA AB, ALMEIDA DF, STEPHANI R, PIROZI MR, CARVALHO AF, PERRONE IT. 2014. Production of dulce de leche: The effect of starch addition. *LWT - Food Science and Technology* (in press). doi:10.1016/j.lwt.2014.10.062
- TAKEDA, A. 2008. Levantamento de métodos de avaliação de impacto de ciclo de Vida (AICV) e análise comparativa dos métodos mais utilizados. USP.

Departamento de Engenharia Ambiental.
São Carlos, São Paulo.

VALT, R.B.G. 2004. Análise do ciclo de vida de embalagens pet, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais. 193 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.